心理科学进展 2021, Vol. 29, No. 6, 1000–1009
Advances in Psychological Science

https://doi.org/10.3724/SP.J.1042.2021.01000

动作视频游戏对发展性阅读障碍者阅读技能的影响及其内在机制*

任筱宇[1,2] 赵 婧[2] 毕鸿燕[1,3]

([1]中国科学院行为科学重点实验室; 中国科学院心理研究所脑科学与学习困难研究中心, 北京 100101)
([2]首都师范大学心理学院, 北京市"学习与认知"重点实验室, 北京 100037)
([3]中国科学院大学心理系, 北京 100049)

摘 要 发展性阅读障碍是一种在获得阅读技能方面的特殊困难, 这种障碍会严重影响个体的发展, 如何帮助发展性阅读障碍者改善其阅读技能是近年来研究的焦点。传统的干预方法主要针对发展性阅读障碍者的语音缺陷, 这类方法存在一些问题, 如费时费力、给阅读障碍者带来阅读压力等。近年来, 大部分研究表明通过趣味性的动作视频游戏训练可以显著地提高发展性阅读障碍者的阅读技能, 但是其背后的机制尚不明确。基于大细胞通路缺陷理论框架, 从视觉空间注意、注意跨通道转换、视觉运动加工等方面来梳理动作视频游戏与阅读之间的关系, 揭示了动作视频游戏训练对阅读效率影响的可能内在机制。未来的研究可以在大细胞通路缺陷理论的框架下, 深入分析动作视频游戏改善阅读的神经机制, 并尝试开发更适合发展性阅读障碍者的干预程序。

关键词 动作视频游戏, 发展性阅读障碍, 注意跨通道转换, 大细胞通路缺陷
分类号 R395

阅读是我们生活和学习中非常重要的技能, 大多数人能够顺利习得这一技能, 但是对于一部分人来说(约为 10%), 阅读却是一件非常困难的事情, 这部分人就是发展性阅读障碍(Development dyslexia, DD) (American Psychiatric Association, 2013)。发展性阅读障碍是一种在获得阅读技能方面的特殊困难, 这种困难不能单纯地归因于智力水平、视敏度问题以及教育缺失(World Health Organization, 2011)。阅读障碍会给个体带来广泛的负面影响, 包括认知、情感以及社会适应性问题(Ghisi et al., 2016)。如何改善发展性阅读障碍者的阅读能力是该领域研究的焦点, 对于该问题的回答有助于开发出针对阅读障碍者的训练程序, 帮助其提升阅读能力, 并且更好地适应社会生活。

过去几十年里, 拼音文字研究较为一致地认为语音缺陷是发展性阅读障碍的核心缺陷(Snowling, 2001; Shaywitz et al., 2004), 即 DD 存在语音表征、存储和提取缺陷, 这一缺陷影响形音转换过程, 最终导致其阅读能力受损(Snowling, 2001)。因此, 传统的 DD 干预主要采用直接的、系统的有关形音整合的训练方式(Gabrieli, 2009; Peterson & Pennington, 2012)。但是, 有研究者指出这类方法存在一些问题: 首先, 这类方法通常会使用与文字加工相关的技能, 这会使阅读障碍者感到有压力, 容易导致其中途退出; 其次, 这类训练对干预实施者有很高的要求, 而且耗时耗力(Dehaene et al., 2010; Gabrieli, 2009)。近年来, 一些研究者指出语音层面缺陷只是阅读障碍的外在表现, 更基础的认知层面缺陷才是导致阅读障碍的根本原因, 如大细胞通路缺陷理论(Stein, 2014; 2018), 该理论认为 DD 存在运动加工、时间序列加工、视觉空间注意、眼动控制等缺陷。基于此, DD 干预手段被扩展到对感知觉、注意等基础认知能力

收稿日期: 2020-06-09
* 国家自然科学基金面上项目(31671155, 31871117)。
通信作者: 毕鸿燕, E-mail: bihy@psych.ac.cn
赵婧, E-mail: conanzj@126.com

的训练上, 包括视觉注意广度训练(Valdois et al., 2014; Zhao et al., 2019)、基于视觉大细胞通路能力的训练(Chouake et al., 2012; Qian & Bi, 2015)、动作视频游戏训练(Franceschini et al., 2013; Gori, Seitz et al., 2016)等。值得一提的是, 相比其他干预训练, 动作视频游戏具有更强的趣味性、灵活性, 能更大程度地激发参与者的积极性, 减少其枯燥感(Peters et al., 2019)。并且有研究表明, 相比常规的知觉训练, 动作视频游戏训练效果能够产生更广的迁移(Green & Bavelier, 2012; Seitz et al., 2010)。这些独特优势使得动作视频游戏逐渐成为研究者关注的热点。

所谓的动作视频游戏(Action video game, AVG)是指一种需要大量使用视觉和注意资源的速度游戏(Roque & Boot, 2018; Dale et al., 2020), 具备以下几个特征：1)速度快; 2)对知觉、认知、运动加工有很高的要求; 3)在时间和空间上有不可预测性; 4)出现在屏幕周围的事物对完成任务有重要意义(Green et al., 2010)。

本文将综述动作视频游戏训练对阅读技能的影响, 初步分析两者之间关系可能的内部机制并指出未来的研究方向。

1　动作视频游戏对阅读技能的促进作用

Franceschini 等人(2013)的研究首次证明了动作视频游戏训练对发展性阅读障碍儿童阅读技能的促进作用。研究者比较了训练前后 AVG 训练组和非 AVG 训练组 DD 儿童在假词和篇章阅读测验中的成绩, 结果表明经过 12 小时的动作视频游戏训练, AVG 训练组的语音解码能力和篇章阅读速度有了显著的提高, 而在非 AVG 训练组儿童中则没有这种变化。研究者对 AVG 组进行了追踪, 发现两个月后动作视频游戏训练对阅读速度的促进效果仍然存在。Gori, Seitz 等人(2016)的研究支持了这一结果。该研究对 11 名发展性阅读障碍儿童先进行非动作视频游戏训练, 再进行动作视频游戏训练。通过比较不同训练后被试在篇章阅读和假词阅读中的成绩发现, 仅在动作视频游戏训练后被试的阅读效率(阅读时间与阅读正确率之比)有显著的提升。以上两项研究(Franceschini et al., 2013; Gori, Seitz et al., 2016)均是在意大利语阅读者中展开的。意大利语属于浅层正字法语言, 形音一致性较强并且字母发音规则变化较少, 因此要在不出现更多错误的情况下提升阅读速度是比较容易的, 而在具有深层正字法的文字中, 如英语, 形音对应关系通常不完全一致, 发音规则也更加复杂并且涉及较大的正字法单元, 发音时更容易出现错误(Bavelier et al., 2013)。Franceschini, Trevisan 及其团队(2017)在英语阅读障碍儿童中考察了 AVG 训练与阅读的关系。对 AVG 训练组和控制组 DD 儿童前后测结果进行比较发现, 仅 AVG 训练组被试表现出单词阅读和语音解码速度的显著改善。这一结果表明, 在深层正字法语言中, 动作视频游戏训练仍可促进阅读障碍者阅读技能的提高。以上研究中的被试在实验前均没有 AVG 经验, 通过短期 AVG 训练就能表现出在阅读能力上的显著提高。那么, 长期的 AVG 经验会对个体的阅读技能有怎样的影响呢？Antzaka 等人(2017)的研究比较了 AVG 习惯性玩家(参加研究前 6 个月内, 每周至少玩动作视频游戏 5 小时)和同年龄(平均年龄 21 岁)非游戏玩家(没有动作视频游戏经验)在假词阅读测验上的前后测成绩, 结果显示 AVG 习惯性玩家的成绩显著优于非游戏玩家组被试。该研究从另一个角度说明了 AVG (长期)训练对阅读技能的积极影响。但是, Łuniewska 等人(2018)的研究发现了与上述文献不一致的结果。其研究发现, 波兰语(浅层正字法)阅读障碍儿童(平均年龄 11 岁)经过约 13 小时的动作视频游戏训练后, 与不接受任何实验处理的控制组 DD 儿童在线上阅读测验上的成绩没有显著的差异。他们认为 AVG 训练带来的阅读能力改善可能源于重复效应、任务学习效果或者学校日常学习效果, 而不能很有力地归因于干预训练的实际效果。以上矛盾的结果可能与以下三方面有关：第一, 发展性阅读障碍者通常伴有不同的认知缺陷(Bavelier et al., 2013), 如语音缺陷、视觉注意缺陷、视觉运动缺陷、工作记忆缺陷等, 因此存在亚类型问题, 近期关于 DD 的干预研究表明, 阅读障碍的群体异质性会对训练效果产生显著影响(Zhao et al., 2019), 上述研究均没有对 DD 亚型进行区分, 这可能是导致研究结果出现矛盾的一个原因; 第二, Łuniewska 等人(2018)的研究没有说明在 AVG 训练组接受动作视频游戏训练的时间段内, 不接受任何实验处理的控制组进行了哪些活动, 这些活动可能会对研究的结果产生干扰; 第三, Łuniewska 等人(2018)采用的线上阅读测试

是由被试在家施测的，这种非实验室条件下的线上测验很难与实验室条件下的测验等效(Buchanan, 2002)。

2 从大细胞通路角度分析动作视频游戏影响阅读的内在机制

已有的大部分研究表明，动作视频游戏(AVG)训练可以显著地提高发展性阅读障碍者的阅读技能，但是 AVG 是如何促进阅读的，其背后的机制是怎么样的呢？

AVG 具备几个重要特征，如需要玩家对快速运动的刺激进行加工、需要注意定向及注意的快速转换等，这些均与大细胞通路的主要功能(如视觉运动知觉、视觉空间注意、注意转换)密切相关。大细胞通路(visual magnocellular pathway)起始于分布在视网膜外周的 M 型神经节细胞，其接受视觉输入后通过视神经束将信息传导至外侧膝状体的大细胞层，随后这些视觉信息被投射到初级视皮层，进一步沿着视觉背侧通路向上投射至大脑皮层的视觉运动区(MT 区)、后顶叶皮层(posterior parietal cortex, PPC)、眶额皮层(orbitofrontal cortex)等(Bar et al., 2006)。在阅读障碍的缺陷理论中，大细胞通路缺陷理论是解释发展性阅读障碍成因的重要理论之一(Ji & Bi, 2020; Stein, 2018)，该理论认为发展性阅读障碍是由大细胞通路能力受损导致的(Stein, 2014)，表现为对低空间频率、高时间频率或运动信息的加工能力不足，以及视觉空间注意能力低下等(Liu et al., 2018; Gori, Seitz et al., 2016)。本文试图在大细胞通路缺陷理论框架下，解释动作视频游戏与阅读之间的关系，以揭示动作视频游戏训练影响阅读的可能内在机制。

2.1 从大细胞通路功能角度分析动作视频游戏对阅读的影响

2.1.1 视觉空间注意能力在动作视频游戏与阅读关系中的作用

阅读时，我们需要有效地提取视觉信息，这不仅要依靠注意系统高效的引导，使注意在空间上迅速移动(Grainger et al., 2016)，还需要对周围的干扰刺激进行抑制(Liu et al., 2016)，这都与视觉空间注意能力密不可分。一项追踪研究发现意大利儿童的视觉空间注意能力可以有效地预测其一、二年级时的单词、假词以及篇章阅读速度(Franceschini et al., 2012)。

已有大量的行为和神经机制层面的研究均表明动作视频游戏可以有效改善视觉空间注意能力(Bavelier & Green, 2019; Dale et al., 2020; Green & Bavelier, 2003, 2006; Feng & Spence, 2007; Nyquist et al., 2016; Föcker et al., 2018; Wu & Spence, 2013)。行为方面，Green 和 Bavelier (2003)在正常被试中进行了研究，比较了训练组在进行了 10 天，每天 1 小时的 AVG 训练后与控制组在有效视野任务上的成绩。有效视野任务常用于考察个体在不产生头动和眼动时可以有效使用的视野范围，反映个体的注意分配能力。前后测结果显示，训练组被试后测成绩显著提高，而控制组则没有，表明 AVG 训练对视觉注意分配能力有积极影响。另一项研究将 20 名正常的非动作视频游戏玩家随机分为 AVG 训练组和非 AVG 训练组，AVG 训练组每天 1 玩小时的动作视频游戏，共计 10 小时，而非 AVG 组在相同时间内玩俄罗斯方块。干预前后记录两组被试在目标定位任务上的成绩，对结果进行分析发现，两组被试的前测成绩没有显著差异，而 AVG 训练组后测成绩则显著高于非 AVG 训练组。该结果表明动作视频游戏可以改善空间注意资源在视野内的分配能力(Green & Bavelier, 2006)。Feng 和 Spence (2007)使用有效视野任务和心理旋转任务发现，20 名没有任何动作视频游戏经验的正常被试经过 10 小时的 AVG 训练后，在上述两个任务中的成绩均有显著提高，并且这种提升在两个月后仍然保持。该研究说明动作视频游戏不仅可以显著提高空间注意分配能力，还可以改善心理旋转这种更高级的空间认知能力。脑神经方面，Bavelier 等人(2011)采用脑成像技术在正常被试中比较了动作视频游戏玩家(参与实验前 1 年内，每周玩动作视频游戏 5 小时以上)和非动作游戏玩家(参与实验前 1 年内，每周玩动作视频游戏小于 1 小时)在不同难度视觉搜索任务下注意网络激活的差异。视觉搜索任务中，被试需要判断同时出现的 8 个刺激中是否有正方形或菱形，任务有两个难度：低负荷水平中，8 个刺激由目标刺激(正方形或菱形)和 7 个圆形组成；高负荷水平中，8 个刺激包括目标刺激(正方形或菱形)和 4 个圆形以及从 12 种形状(如三角形、梯形等)中任意选择的 3 个刺激组成。结果表明，与非动作视频游戏玩家相比，随着任务难度即负荷水平的增加，动作视频玩家表现出更少的额顶网络激活。

该结果在一定程度上说明动作视频游戏可以提高注意资源在空间内的自动化分配能力。一项在正常被试中使用事件相关电位技术的研究发现, 在目标辨别任务中, 与非动作视频游戏玩家相比, 动作视频游戏玩家的 N1 成分出现了更大的负值, 而 N1 成分被认为可以引导与注意相关的顶叶加工过程(Föcker et al., 2018)。

Franceschini 等(2013)推测 AVG 训练可能会通过改善发展性阅读障碍儿童的视觉空间注意技能进而影响其阅读技能, 并用实验证明了这一观点。该研究选取 20 名意大利语发展性阅读障碍儿童并将其随机分为训练组和非训练组, 其中, 训练组(10 人)在 9 个工作日内接受了每天 80 分钟的动作视频游戏训练, 非训练组(10 人)在相同时间内接受非动作视频游戏训练。AVG 训练组和非 AVG 训练组使用的游戏均来自一款商业化动作视频游戏——疯狂的兔子(Rayman Raving Rabbids)。其中, AVG 训练组使用兔子狩猎(Bunny Hunt)和摇晃战利品(Shake Your Booty)等 10 个小游戏, 这些游戏均满足 Green 等人(2010)对动作视频游戏的界定。以兔子狩猎为例, 玩家必须快速向随时可能出现在屏幕任意位置的兔子射击马桶塞, 以避免被兔子击中。非 AVG 训练组则使用另外 10 个仅需要简单重复操作, 或者仅涉及记忆能力等不满足动作视频游戏定义的小游戏, 如兔子不挤奶(Bunnies Don’t Milk Cows), 在该游戏中玩家仅需操控按键使兔子重复一些简单的肢体动作。研究者比较了 AVG 训练组和非 AVG 训练组在阅读能力和注意能力相关任务上的成绩, 阅读能力测试包括假词解码和篇章阅读, 注意能力测试包括分别与视觉空间注意和空间瞬时注意有关的单一报告法和视听跨通道瞬时注意。单一报告法任务要求被试在快速呈现的 6 个刺激中识别目标刺激, 共有集中和分散两种条件：集中条件下, 线索提示会在刺激出现前呈现, 考察被试的注意聚焦能力; 分散条件下, 线索提示在刺激呈现后再出现, 考察被试的注意分配能力。视听跨通道瞬时任务则需要被试在声觉线索出现后迅速判断视觉目标刺激出现在左侧还是右侧, 声觉线索包含有效和无效两种条件。结果显示, AVG 训练组儿童表现出注意和阅读任务成绩的显著提高, 而非 AVG 训练组则没有。进一步的回归分析结果显示, 在控制了年龄、智力和语音技能增长后, 注意能力的提高对阅读技能的改善有接近 50%的贡献。这些结果表明 AVG 训练可以显著提升阅读障碍儿童的空间和瞬时注意, 而在注意能力方面的训练效果可以提升阅读技能。随后, Antzaka 等人(2017)采用常用于测量视觉注意广度的全部报告法和部分报告法在正常被试中比较了 AVG 习惯性玩家和非游戏玩家的视空注意能力, 发现 AVG 习惯性玩家比同年龄非游戏玩家有更大的视觉注意广度, 并且 AVG 习惯性玩家在视觉注意广度和假词阅读测验上的成绩存在显著正相关, 表明动作视频游戏训练扩大了游戏者的视觉注意广度, 促使他们可以加工更大的正字法单元, 从而改善了其阅读技能。

2.1.2　注意跨通道转换能力在动作视频游戏与阅读关系中的作用

阅读涉及快速的视−听转化过程, 需要我们迅速把视觉信息转化为语音编码, 这一过程通常依赖于信息的跨通道转换(Snowling, 1980)。有研究表明, 发展性阅读障碍成年人与正常读者相比, 在需要将注意从视觉转移到听觉的任务中, 表现出注意转移缓慢, 这说明阅读障碍者较差的阅读能力可能与注意的跨通道转换障碍有关(Harrar et al., 2014)。

要顺利完成动作视频游戏, 通常需要同时对多感官刺激进行加工, 这依靠于信息在多种感觉通道中的迅速转换。有研究指出, 动作视频游戏训练可以改善注意资源的跨通道转换能力(Donohue et al., 2010; Gori, Seitz et al., 2016)。Donohue 及其同事(2010)比较了正常被试中动作视频游戏玩家(参加实验前 6 个月内每周至少玩 2 小时动作视频游戏)和非动作视频游戏玩家(参加实验前 6 个月内没有任何动作视频游戏经验)在跨通道同时判断任务和时序判断任务中的表现。在同时判断任务中, 被试需要判断听觉和视觉刺激是同时出现还是异步出现, 并使用标准数字键盘上的按键进行反应(1 表示同时; 2 表示非同时); 在时序判断任务中, 被试需要判断听觉或视觉刺激出现的顺序, 然后作出按键反应(1 表示听觉先出现; 反之按 2 键)。结果显示, 动作视频游戏玩家组在上述两个任务中的表现均优于非游戏玩家组, 研究者认为动作视频游戏经验可能对跨通道时间加工能力存在积极影响。

Franceschini, Trevisan 等人(2017)的研究发现,

动作视频游戏训练可能是通过提高英语阅读障碍儿童的跨通道注意转换能力，从而其改善阅读技能。研究采用视–听跨通道注意转换任务来考察被试的注意转换能力，使用单词、假词阅读来考察阅读能力。视–听跨通道转换任务共有视觉和听觉两种刺激，有视觉单刺激、听觉单刺激、视–听双刺激三种呈现方式，刺激材料可能会出现在左侧或右侧(视–听双刺激条件下，两种刺激同时同侧出现)，被试需要迅速判断刺激出现的位置并做出按键反应(Z 键表示左边，M 键表示右边)。注意转换损耗(shift costs)作为测验指标(Harrar et al., 2014)，共有两种：第一种为视觉转换损耗，即"前一刺激为听觉刺激、后一刺激为视觉刺激时被试判断视觉刺激所需时间"与"连续呈现视觉刺激时被试对后一视觉刺激的判断反应时"之差，该指标反映了注意从听觉通道转移到视觉通道的能力；第二种为听觉转换损耗，类似前面的逻辑，听觉转换损耗 = "前一刺激为视觉刺激、后一刺激为听觉刺激时被试对听觉刺激位置的判断时间" − "连续呈现听觉刺激时被试对后一刺激位置的判断时间"，该指标反映了注意从视觉通道转换到听觉通道的能力。通过比较 AVG 训练组(n = 16)和非 AVG 训练组(n = 12) DD 被试训练前后在两种注意损耗指标上的成绩发现，AVG 训练组儿童经过 12 小时的动作视频游戏后，听觉转换损耗后测成绩显著优于前测成绩，而视觉转换损耗前后测没有显著差异，表明训练组被试从视觉到听觉的注意转换力得到了显著提高。非 AVG 训练组在这两种指标上的前后测成绩均没有显著差异。之后的回归分析表明，视–听跨通道注意转换成绩的提高能够解释阅读速度改善的 25%，该结果说明视–听跨通道注意转换能力在动作视频训练促进阅读阅读能力改善中起到重要作用。

2.1.3 视觉运动加工能力在动作视频游戏与阅读关系中的作用

阅读时，我们需要对字母的位置进行精确地编码，要实现这一过程必须依赖于视觉运动系统(Stein, 2018)。已有研究表明，视觉运动加工能力与阅读能力存在显著的相关(Levy et al., 2010)；发展性阅读障碍患者存在明显的视觉运动加工能力缺陷，如较低的一致性运动敏感性、较差的速度辨别能力等(Gori & Facoetti, 2014; Mascheretti et al., 2018; Peters et al., 2019; Stein, 2014)。在 Qian 和 Bi (2015)的研究中，研究者使用基于视觉运动加工能力的训练对 DD 儿童进行了干预，训练程序包括了一致性运动任务、视觉搜索任务、视觉追踪任务和抛接球训练。研究结果显示，经过 10 次，每次 1 小时的训练后，DD 训练组被试在反映视觉运动能力的一致性运动测验和反映语音意识的假词阅读测验上的后测成绩显著高于前测，并且其后测成绩与同年龄正常儿童组后测成绩之间没有显著差异，但是在 DD 非训练组中没有观察到这种改善。这表明，对发展性阅读障碍儿童进行视觉运动能力训练可以有效改善其语音意识。

Morin-Moncet 等人(2016)使用序列反应时范式和经颅磁刺激–运动诱发电位(TMS-MEP)技术对动作视频游戏与视觉运动加工之间的关系进行了研究。实验共有 24 名正常成人被试，其中 12 名为动作视频游戏玩家(参与实验前 6 个月内，每周至少玩动作视频游戏 6 小时)，另外 12 名为非动作视频游戏玩家(参与实验前 12 个月内，几乎没有动作视频游戏经验)。序列反应时任务常用于考察被试的视觉运动加工以及知觉学习能力，在该任务中，屏幕上从左到右的 4 个位置依次被设定为位置 1、2、3、4，每个位置都对应着一个按键。视觉刺激是一个星状图形，被试需要判断目标刺激出现的位置。视觉刺激会按固定的位置序列(4-2-3-1-1-3-2-1-3-4-2-4)呈现，共有 10 个序列，在呈现 5 次和 10 次固定的位置序列之后，研究者分别加入了两列随机位置序列。在进行序列反应时任务的前后，研究者使用经颅磁刺激技术刺激被试双侧初级运动皮层(M1 区)，并在第一背侧骨间肌(FDI)处记录 M1 区的运动诱发电位(Motor Evoked Potentials, MEP)，将运动诱发电位的波幅作为皮质脊髓的兴奋性的反映指标。序列反应时范式任务的结果显示，动作视频游戏玩家的反应时显著短于非动作游戏玩家，表明了动作视频游戏玩家的视觉运动能力优势。进一步对运动诱发电位结果进行分析发现，两组被试在前测时没有差异，但动作游戏玩家后测 MEP 波幅显著高于非动作视频游戏玩家，且仅在动作视频游戏玩家中发现后测 MEP 显著高于前测，表明动作视频游戏玩家完成序列反应时任务之后皮质脊髓兴奋性有了显著增强。研究者认为动作视频游戏玩家表现出来的视觉运动能力优势可能与动作视频游戏经验能够改善初级运动皮层(M1 区)的可塑性有关。一

项干预研究也发现了类似结果, 在该研究中, 没有任何动作视频游戏经验的正常被试经过 5 小时的动作视频游戏训练后, 视觉运动控制能力有了显著的提高, 而在接受非动作视频游戏训练的对照组中没有观察到这种改善(Li et al., 2016)。Gori, Seitz 等人(2016)的研究对 11 名发展性阅读障碍儿童先进行非动作视频训练, 再进行动作视频游戏训练, 每种训练均为 9 次, 每次 80 分钟。记录被试在非动作视频游戏训练前 3~5 天(T1)、非动作视频游戏训练后(T2)、动作视频游戏训练后(T3)三个时间点上的阅读和视觉技能测试成绩。阅读相关测试包括篇章阅读、假词阅读、假词复述等任务, 视觉任务包括一致性运动点探测任务、错觉运动任务、静止高空间分辨率光栅方向辨别任务等。其中, 一致性运动点探测任务、错觉运动任务与视觉运动能力有关。结果显示, 仅在动作视频游戏训练后, 被试的篇章阅读、假词阅读和假词复述成绩表现出显著提升, 而非动作视频训练对阅读技能没有显著影响。同时, 动作视频游戏训练可显著提高被试在一致性运动点任务上的成绩但对静止光栅方向辨别任务上的成绩无显著影响。该研究说明动作视频训练可能是通过促进被试的视觉运动加工能力从而进一步改善其阅读技能的。

2.2 大细胞通路功能可能是动作视频游戏与阅读关系的内在机制

结合以往研究, 本文提出了动作视频游戏、大细胞通路、阅读三者之间关系的一种可能解释(见图 1), 即动作视频游戏训练可能在神经层面对大细胞通路功能产生影响, 而大细胞通路功能的改善促进了个体阅读技能的提升。

在动作视频游戏中, 目标刺激可能出现在屏幕的任意位置, 并且除了目标刺激外还存在大量的干扰刺激(Green et al., 2010), 这与视觉搜索任务很相似, 都对视觉空间注意能力有较高的要求, 特别是注意资源在空间中的分配、注意定向等能力。此外, 动作视频游戏不仅有复杂的图像刺激, 通常也会伴随丰富的声音刺激, 是一个多感官同时参与的过程, 一定程度上需要注意在不同通道之间进行转换。以往研究结果显示, 动作视频游戏的长期经验可显著改变个体后顶叶皮层(PPC)等脑区的脑结构特征。例如, Tanaka 等人(2013)的研究发现, 与非动作视频游戏玩家相比, 动作视频游戏玩家的后顶叶皮层灰质体积更大。后顶叶皮层是大细胞通路上的重要脑区之一, 其功能主要是视觉空间注意定向和跨通道注意转换等, 而且, 有研究表明, 它们在正字法解码、形音转换等阅读相关认知加工过程中发挥着非常重要的作用(Stein, 2018; Liu et al., 2019)。据此我们推测, AVG 训练后, 发展性阅读障碍个体在大细胞通路后顶叶皮层结构的改善促进其空间注意能力和跨通道注意转换能力等大细胞通路相关认知功能的显著提升, 从而促进个体的正字法意识、形−音匹配等阅读相关技能, 进一步影响阅读。

同时, 要顺利完成动作视频游戏, 玩家需要对快速出现的刺激作出反应, 这一过程依赖于对运动信息快速、准确的加工。视觉运动加工过程主要是由大细胞通路中的视觉运动区(MT 区)负责的(Gori, Molteni et al., 2016; Stein, 2018)。以往研究发现, 较长时间的动作视频游戏经验可提升 MT 区的激活效率, 以提升个体对视觉运动信息的加工水平(Bavelier et al., 2011)。视觉运动信息的加工技能与文字位置信息的精准编码有关(Stein, 2018)。Liederman 等人(2003)的一项 TMS 研究显示, MT 区与字母位置解码有关。因此, 动作视频游戏训练可以通过增强发展性阅读障碍个

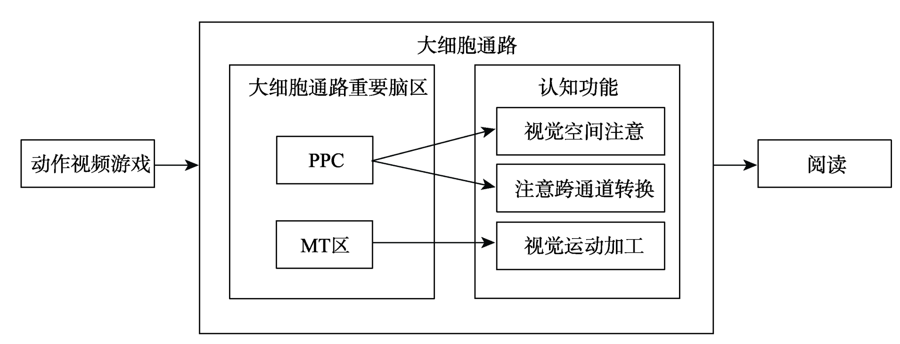


图 1　动作视频游戏-大细胞通路-阅读的关系

体的 MT 区功能，改善其视觉运动加工能力和眼动控制技能，进而提高其文字位置编码效率，并最终促进其阅读技能。

3 总结与展望

已有研究较为一致地支持了动作视频游戏训练对阅读技能的促进作用(Antzaka et al., 2017; Bertoni et al., 2019; Franceschini et al., 2013; Franceschini et al., 2015; Franceschini, Bertoni et al., 2017; Franceschini, Trevisan et al., 2017; Franceschini & Bertoni, 2019; Gori, Seitz et al., 2016)，并且相比传统的干预程序，动作视频游戏具有较强的趣味性和灵活性，能够在一定程度上更好地引起参与者的兴趣，提高其干预的积极性(Peters et al., 2019)，这些发现为今后的阅读训练和发展性阅读障碍干预提供了依据。不过，我们还应该清楚地看到目前该领域研究存在的问题和面临的挑战。

第一，市场现存的动作视频游戏具有较大的复杂性，要精确分析其包含的认知成分是比较困难的(Bedwell et al., 2012)，所以当我们试图揭示其对行为和大脑的影响时，这种机制的复杂性很可能会引起混乱。

第二，关于动作视频游戏对阅读促进作用的解释尚无定论，未来可以从以下方向开展研究：首先，可以在大细胞通路缺陷理论的框架下，系统地研究动作视频游戏干预改善阅读技能的可能性机制；其次，目前关于动作视频游戏训练与阅读技能之间关系的脑神经机制研究还很欠缺，未来可以从脑机制的角度来对两者之间的关系进行研究。

第三，有研究者指出已有干预研究的重复性较低，造成这一问题的原因之一可能是干预时长、使用的具体游戏等干预程序设计方面存在差异(Bediou et al., 2018; Green et al., 2019)；另外一个可能的原因是未对参与训练的被试进行严格控制，比如未考虑发展性阅读障碍被试的亚类型、被试所处的文化背景、被试的年龄等因素的影响。今后需要对训练程序、被试选择等方面进行更加严格地操纵。另外，考虑到认知技能的改变比较缓慢，并且其改善过程可能存在一个潜伏期(Green et al., 2019)，未来的干预还要更加注重追踪研究。

参考文献

American Psychiatric Association (APA) (2013). *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (5th ed.).* Arlington VA: American Psychiatric Publishing.

Antzaka, A., Lallier, M., Meyer, S., Diard, J., Carreiras, M., & Valdois, S. (2017). Enhancing reading performance through action video games: The role of visual attention span. *Scientific Reports, 7*(1), 14563.

Bar, M., Kassam, K. S., Ghuman, A. S., Boshyan, J., Schmid, A.M., Dale, A. M., … Halgren, E. (2006). Top-down facilitation of visual recognition. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 103*(2), 449–454.

Bavelier, D., Achtman, R. L., Mani, M., & Föcker, J. (2011). Neural bases of selective attention in action video game players. *Vision Research*, *61*, 132–143.

Bavelier, D., & Green, C. S. (2019). Enhancing attentional control: Lessons from action video games. *Neuron, 104*(1), 147–163.

Bavelier, D., Green, C. S., & Seidenberg, M. S. (2013). Cognitive development: Gaming your way out of dyslexia? *Current Biology, 23*(7), 282–283.

Bediou, B., Adams, D. M., Mayer, R. E., Tipton, E., Green, C. S., & Bavelier, D. (2018). Meta-analysis of action video game impact on perceptual, attentional, and cognitive skills. *Psychological Bulletin, 144*(1), 77–110.

Bedwell, W. L., Pavlas, D., Heyne, K., Lazzara, E. H., & Salas, E. (2012). Toward a taxonomy linking game attributes to learning: An empirical study. *Simulation & Gaming, 43*(6), 729–760.

Bertoni, S., Franceschini, S., Ronconi, L., Gori, S., & Facoetti, A. (2019). Is excessive visual crowding causally linked to developmental dyslexia? *Neuropsychologia, 130*, 105–115.

Buchanan, T. (2002). Online assessment: Desirable or dangerous? *Professional Psychology: Research and Practice, 33*(2), 148–154.

Chouake, T., Levy, T., Javitt, D. C., & Lavidor, M. (2012). Magnocellular training improves visual word recognition. *Frontiers in Human Neuroscience, 6*, 14.

Dale, G., Joessel, A., Bavelier, D., & Green, C. S. (2020). A new look at the cognitive neuroscience of video game play. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1464*(1), 192–203.

Dehaene, S., Pegado, F., Braga, L. W., Ventura, P., Filho, G. N., Jobert, A., … Cohen, L. (2010). How learning to read changes the cortical networks for vision and language. *Science, 330*(6009), 1359–1364.

Donohue, S. E., Woldorff, M. G., & Mitroff, S. R. (2010). Video game players show more precise multisensory temporal processing abilities. *Attention, Perception, & Psychophysics,*

72(4), 1120–1129.

Feng, J., Spence, I., & Pratt, J. (2007). Playing an action video game reduces gender differences in spatial cognition. *Psychological Science, 18*(10), 850–855.

Föcker, J., Mortazavi, M., Khoe, W., Hillyard, S. A., & Bavelier, D. (2018). Neural correlates of enhanced visual attentional control in action video game players: An event-related potential study. *Journal of Cognitive Neuroscience, 31*(3), 377–389.

Franceschini, S., & Bertoni, S. (2019). Improving action video games abilities increases the phonological decoding speed and phonological short-term memory in children with developmental dyslexia. *Neuropsychologia, 130*, 100–106.

Franceschini, S., Bertoni, S., Gianesini, T., Gori, S., & Facoetti, A. (2017). A different vision of dyslexia: Local precedence on global perception. *Scientific Reports, 7*(1), 17462

Franceschini, S., Bertoni, S., Ronconi, L., Molteni, M., Gori, S., & Facoetti, A. (2015). "Shall we play a game?": Improving reading through action video games in developmental dyslexia. *Current Developmental Disorders Reports, 2*(4), 318–329.

Franceschini, S., Gori, S., Ruffino, M., Pedrolli, K., & Facoetti, A. (2012). A causal link between visual spatial attention and reading acquisition. *Current Biology, 22*(9), 814–819.

Franceschini, S., Gori, S., Ruffino, M., Viola, S., Molteni, M., & Facoetti, A. (2013). Action video games make dyslexic children read better. *Current Biology, 23*(6), 462–466.

Franceschini, S., Trevisan, P., Ronconi, L., Bertoni, S., Colmar, S., Double, K., … Gori, S. (2017). Action video games improve reading abilities and visual-to-auditory attentional shifting in English-speaking children with dyslexia. *Scientific Reports, 7*(1), 5863.

Gabrieli, J. D. E. (2009). Dyslexia: A new synergy between education and cognitive neuroscience. *Science, 325*(325), 280–283.

Ghisi, M., Bottesi, G., Re, A. M., Cerea, S. & Mammarella, I. C. (2016). Socioemotional features and resilience in Italian university students with and without dyslexia. *Frontiers in Psychology, 7*, 478.

Gori, S., & Facoetti, A. (2014). Perceptual learning as a possible new approach for remediation and prevention of developmental dyslexia. *Vision Research, 99*, 78–87.

Gori, S., Molteni, M., & Facoetti, A. (2016). Visual illusions: An interesting tool to investigate developmental dyslexia and autism spectrum disorder. *Frontiers in Human Neuroscience, 10,* 175.

Gori, S., Seitz, A. R., Ronconi, L., Franceschini, S., & Facoetti, A. (2016). Multiple causal links between magnocellular-dorsal pathway deficit and developmental dyslexia. *Cerebral Cortex, 26*(11), 4356–4369.

Grainger, J., Dufau, S., & Ziegler, J. C. (2016). A vision of reading. *Trends in Cognitive Sciences, 20*(3), 171–179.

Green, C. S., & Bavelier, D. (2003). Action video game modifies visual selective attention. *Nature, 423*(6939), 534–537.

Green C. S., & Bavelier. D. (2006). Effect of action video games on the spatial distribution of visuospatial attention. *Journal of Experimental Psychology Human Perception & Performance, 32*(6), 1465–1478.

Green, C. S., & Bavelier, D. (2012). Learning, attentional control, and action video games. *Current Biology, 22*(6), 197–206.

Green, C S., Bavelier, D., Kramer, A. F., Vinogradov, S., Ansorge, U., Ball, K. K., … Witt, C. M. (2019). Improving methodological standards in behavioral interventions for cognitive enhancement. *Journal of Cognitive Enhancement, 3*(1), 2–29.

Green, C. S., Li, R. J., & Bavelier, D. (2010). Perceptual learning during action video game playing. *Topics in Cognitive Science, 2*(2), 202–216.

Harrar, V., Tammam, J., Pérez-Bellido, A., Pitt, A., Stein, J., & Spence, C. (2014). Multisensory integration and attention in developmental dyslexia. *Current Biology, 24*(5), 531–535.

Ji, Y. Z, & Bi, H. Y. (2020). Visual dysfunction in Chinese children with developmental dyslexia: Magnocellular-dorsal pathway deficit or noise exclusion deficit? *Frontiers in Psychology, 11*, 958.

Levy, T., Walsh, V., & Lavidor, M. (2010). Dorsal stream modulation of visual word recognition in skilled readers. *Vision Research, 50*(9), 883–888.

Li, L., Chen, R., & Chen, J. (2016). Playing action video games improves visuomotor control. *Psychological Science, 27*(8), 1092–1108.

Liederman, J., Fisher, M. G., Schulz, M., Maxwell, C., Théoret, H., & Pascual-Leone, A. (2003). The role of motion direction selective extrastriate regions in reading: A transcranial magnetic stimulation study. *Brain & Language, 85*(1), 140–155.

Liu, D., Chen, X., & Wang, Y. (2016). The impact of visual-spatial attention on reading and spelling in Chinese children. *Reading and Writing, 29*(7), 1435–1447.

Liu, S. S., Liu, D., Pan, Z. H., & Xu, Z. Y. (2018). The association between reading abilities and visual - spatial attention in Hong Kong Chinese children. *Dyslexia, 24*(3), 263–275.

Liu, S. S., Wang, L. C., & Liu, D. (2019). Auditory, visual, and cross-modal temporal processing skills among Chinese children with developmental dyslexia. *Journal of Learning Disabilities, 52*(6), 431−441.

Łuniewska, M., Chyl, K., Debska, A., Kacprzak, A., Plewko,

J., Szczerbinski, M., … Jednorog, K. (2018). Neither action nor phonological video games make dyslexic children read better. *Scientific Reports, 8*(1), 549.

Mascheretti, S., Gori, S., Trezzi, V., Ruffino, M., Facoetti, A., & Marino, C. (2018). Visual motion and rapid auditory processing are solid endophenotypes of developmental dyslexia. *Genes, Brain and Behavior, 17*(1), 70–81.

Morin-Moncet, O., Therrien-Blanchet, J.-M., Ferland, M. C., Théoret, H., & West, G. L. (2016). Action video game playing is reflected in enhanced visuomotor performance and increased corticospinal excitability. *PLoS ONE, 11*(12), e0169013.

Nyquist, J. B., Lappin, J. S., Zhang, R. Y., & Tadin, D. (2016). Perceptual training yields rapid improvements in visually impaired youth. *Scientific Reports, 6*, 37431.

Peters, J. L., de Losa, L., Bavin, E. L. & Crewther, S. G. (2019). Efficacy of dynamic visuo-attentional interventions for reading in dyslexic and neurotypical children: A systematic review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 100*, 58–76.

Peterson, R. L., & Pennington, B. F. (2012). Developmental dyslexia. *Lancet, 379*, 1997–2007.

Qian, Y., & Bi, H. Y. (2015). The effect of magnocellular-based visual-motor intervention on Chinese children with developmental dyslexia. *Frontiers in Psychology, 6*, 1529.

Roque, N. A., & Boot, W. R. (2018). Action video games do not promote visual attention. In Christopher J. & Ferguson, C. J. (Eds.). *Video Game Influences on Aggression, Cognition, and Attention* (pp. 105–118). Cham, Switzerland: Springer International Publishing AG, part of Springer Nature.

Seitz, A. R., Protopapas, A., Tsushima, Y., Vlahou, E. L., Gori, S., Grossberg, S., & Watanabe, T. (2010). Unattended exposure to components of speech sounds yields same benefits as explicit auditory training. *Cognition, 115*(3), 435–443.

Shaywitz, B. A., Shaywitz, S. E., Blachman, B. A., Pugh, K. R., Fulbright, R. K., Skudlarski, P. … Gore, J. C. (2004). Development of left occipitotemporal systems for skilled reading in children after a phonologically- based intervention. *Biological Psychiatry, 55*(9), 926–933.

Snowling, M. J. (1980). The development of grapheme-phoneme correspondence in normal and dyslexic readers. *Journal of Experimental Child Psychology, 29*(2), 294–305.

Snowling, M. J. (2001). From language to reading and dyslexia. *Dyslexia, 7*(1), 37–46.

Stein, J. (2014). Dyslexia: The role of vision and visual attention. *Current Developmental Disorders Reports, 1*(4), 267–280.

Stein, J. (2018). The current status of the magnocellular theory of developmental dyslexia. *Neuropsychologia, 130*, 66–77.

Tanaka, S., Ikeda, H., Kasahara, K., Kato, R., Tsubomi, H., Sugawara, S. K. ... Watanabe, K. (2013). Larger right posterior parietal volume in action video game experts: A behavioral and voxel-based morphometry (VBM) study. *PLoS ONE, 8*(6), e66998.

Valdois, S., Peyrin, C., Lassus-Sangosse, D., Lallier, M., Demonet, J. F., & Kandel, S. (2014). Dyslexia in a French-Spanish bilingual girl: Behavioural and neural modulations following a visual attention span intervention. *Cortex, 53*, 120–145.

World Health Organization. (2011). *International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems – 10th Revision (4th ed.)*. Geneva: World Health Organization.

Wu, S. J., & Spence, I. (2013). Playing shooter and driving videogames improves top-down guidance in visual search. *Attention, Perception, & Psychophysics, 75*(4), 673–686.

Zhao, J., Liu, H. L., Li, J. X., Sun, H. X., Liu, Z. H., Gao, J. … Huang, C. (2019). Improving sentence reading performance in Chinese children with developmental dyslexia by training based on visual attention span. *Scientific Reports, 9*(1), 18964.

Effects of action video games on reading skills of individuals with developmental dyslexia and its internal mechanisms

REN Xiaoyu[1,2], ZHAO Jing[2], BI Hongyan[1,3]

([1] *CAS Key Laboratory of Behavioral Science; Center for Brain Science and Learning Difficulties, Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100101, *China*)

([2] *Beijing Key Laboratory of Learning and Cognition, School of Psychology, Capital Normal University, Beijing* 100037, *China*)

([3] *Department of Psychology, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049, *China*)

Abstract: Developmental dyslexia is a specific disorder in reading acquisition, which hinders the development of individuals. Many researchers focused on how to help the dyslexics to improve their reading skills.

Traditional intervention methods are mainly based on phonological deficit of dyslexia, in which there are still some problems required to be solved such as consuming considerable time and labors in intervention implementation, and reading materials putting pressures on dyslexic readers. In recent years, most of the relevant studies have indicated that the intriguing action video game intervention could significantly improve the dyslexics' reading abilities, but its underlying mechanism remains unclear. Based on the visual magnocellular deficit theory, the possible internal mechanisms regarding the positive influence of playing action video games on reading efficiency could be explained from the aspects of visual spatial attention, cross-sensory attention shifting and visual motor processing. Based on this theory framework, future research could not only examine the internal mechanisms of the effect of action video game training on reading skills, but also develop relevant intervention programs which are more suitable for the dyslexic readers.

Key words: action video game, developmental dyslexia, cross-sensory attention shifting, the visual magnocellular deficit theory